

横型攪拌槽の最適設計：ガス吸収機構

その他（別言語等） のタイトル	The Optimum Design of the Horizontal Stirred Vessel：The Mechanism of Gas Absorption
著者	安藤 公二，原 弘，田保 英明，林 忠信，竹内 隆男，木村 一
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	5
号	2
ページ	595-602
発行年	1966-08-25
URL	http://hdl.handle.net/10258/3261

横型攪拌槽の最適設計

——ガス吸収機構——

安藤 公二・原 弘・田保 英明
林 忠信・竹内 隆男・木村 一

The Optimum Design of the Horizontal Stirred Vessel

——The Mechanism of Gas Absorption——

Koji Ando, Hiroshi Hara, Hideaki Tabo, Tadanobu Hayashi
Takao Takeuchi, and Hajime Kimura

Abstract

We measured the gas absorption velocity, the power consumption, etc. of $\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} - \text{CO}_2$ system, with a view to explaining the ability and mechanism of gas absorption in the horizontal stirred vessel, and obtained the following results:

- (1) The greater the revolution number, the greater the gas absorption, which reaches its maximum at 500~1,000 r.p.m. and gradually becomes poorer as it goes beyond the range.
- (2) The gas absorption coefficient was 20~40 times as large as that of the packed tower or the Bubble cap tower.
- (3) The flow pattern in the vessel changes with $\varepsilon=0.5$ as the boundary condition.
- (4) Its mechanism should be considered with regard to bubbling absorption. The pressure on the vessel wall was about 1/10 of Ganz's theoretical value.

I. 緒 言

工業的ガス吸収装置として古くから充填塔、泡鐘塔等が用いられているが、固体物質の生成する化学吸収では、プレート上、または充填物間隙に固体が析出するため、気一液の接触を著しく阻害し、圧力損失、処理能力の低下をきたす。

横型攪拌槽の特長は水平軸にとりつけた攪拌羽根を器内で高速回転させる点にあり、攪拌羽根によって液が微細液滴となって分散し、ガスの一部が気泡となって液の間にまきこまれ、滴吸収と気泡化吸収と膜吸収が同時に行なわれる。微細液滴と液中の気泡によって、気一液の接触面積が非常に大となり、また著しい乱流状態が形成されるので、気一液の界面更新速度が大となり、したがって吸収速度が非常に大きくなる。これは境膜抵抗の比較的大きい化学吸収に有効で、かつ流通式攪拌であるため固体物質の生成するような反応において極めて有効である。

本報では、著者等が先に行なった石炭酸ソーダ——炭酸ガス系の吸収および物質移動の実験^{1),2)}を横型攪拌槽に於て行ない、充填塔、泡鐘塔等の結果と比較し、併せて攪拌所要動力等

の測定結果から、当装置内でのガス吸収機構を推定した。

II. 実 験 (装置及び操作法)

II-1. ガス 吸 収

装置の概略を図-1に示す。装置は供給部、横型回転攪拌槽からなる。攪拌槽内径 12.6 cm, 長さ 29 cm, 横型円筒二重管で槽内温度を $50 \pm 0.5^\circ\text{C}$ に保った。

回転羽根の構造, 大きさは Ganz³⁾ の報告を参考に 図-2 に示す構造とし, 回転羽根の直径を 11 cm のものを用いた。

II-2. 攪拌所要動力

攪拌所要動力の測定法には多くの方法⁴⁾が報告されているが、本報においてはバネの伸びによる反動トルク法を用い、同時に槽内流体の挙動を観察するため透明アクリル樹脂製の槽を用いた。その概略を図-3に示す。攪拌槽の大きさは 図-1 と同じである。

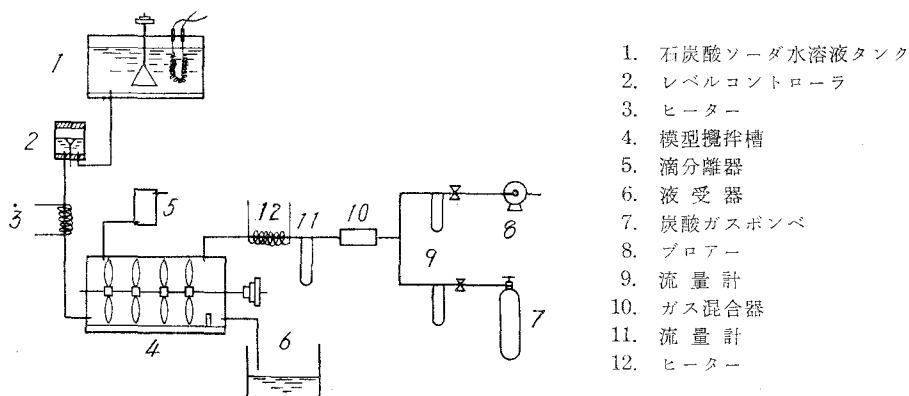


図-1 ガス吸収装置

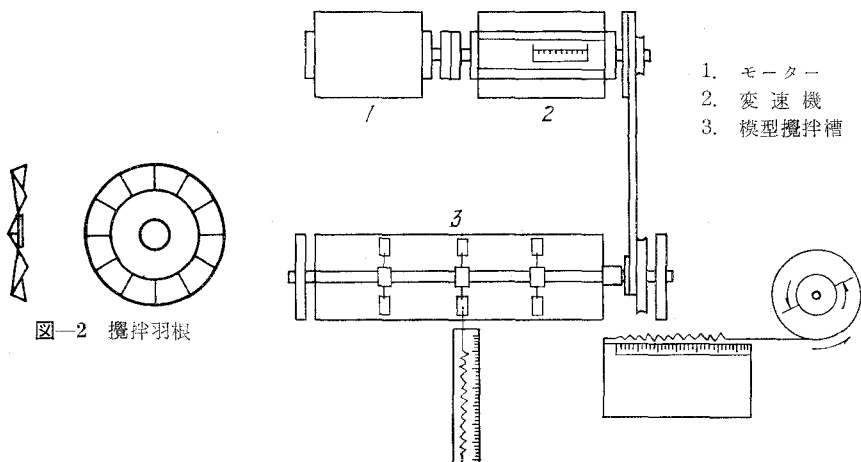


図-2 攪拌羽根

図-3 攪拌所要動力測定装置

III. 実験結果及び考察

III-1. 石炭酸ソーダ水溶液による炭酸ガスの吸収

横型攪拌槽の吸収速度に最も大きい影響をおよぼす因子は、攪拌羽根の周辺速度である³⁾。下記の条件で周辺速度と炭酸ガス吸収量の関係を求めた。なお炭酸ガス吸収量はガス分析および液分析より実測した結果から算出した。

実験条件：槽内温度 50°C、攪拌羽根 3, 5 枚、ガス流量 (CO₂ 10%) 835 l/hr、液流量 (石炭酸ソーダ濃度 0.5 mol/l) 8.5 l/hr、回転数 0~3,000 r.p.m.

図-4 は当系における炭酸ガス吸収量と回転羽根の周辺速度を図示したものである。図から明らかなように、炭酸ガス吸収量は回転数、すなわち周辺速度が増すと吸収量は著しく増加するが、ある極大点を過ぎると低下する。

一方槽内流体の挙動の観察によれば、回転数 300~500 r.p.m. 間では微細液滴が形成され、同時にガスが液間にまきこまれて気泡の層が生ずる。500~1,000 r.p.m. 間では気液の接触面積が最も大になっているように見受けられた。

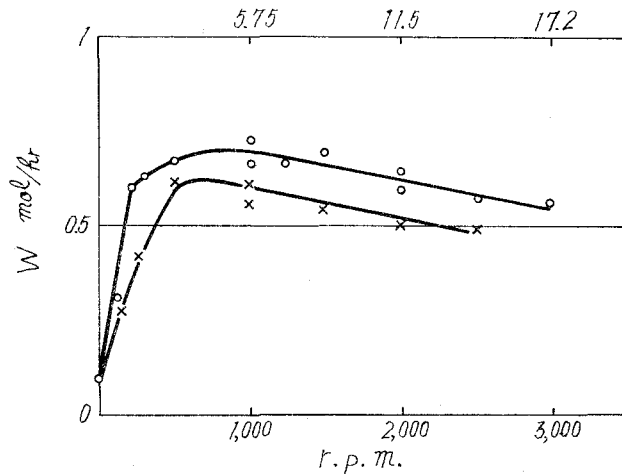


図-4 回転数と炭酸ガス吸収量の関係

しかし気泡の分散状態を直接知る事は本装置では困難なので次節の攪拌所要動力の測定とその観察から推定を行なった。この事より槽内の吸収機構は液滴吸収、面吸収、膜吸収が同時に同程度には行なわれていないと推察された。すなわち、攪拌羽根の回転数を徐々に増加する時、液は 300~500 r.p.m. 程度から、槽内壁に沿って、液膜を形成し、液膜の幅は回転数の増加に伴って増大する。膜吸収が主体であるならば、炭酸ガス吸収量は回転数の増加に従い増加すべであるが、図-4 の結果と一致せず、槽内吸収機構の主体は少なくとも膜吸収でなく、液滴

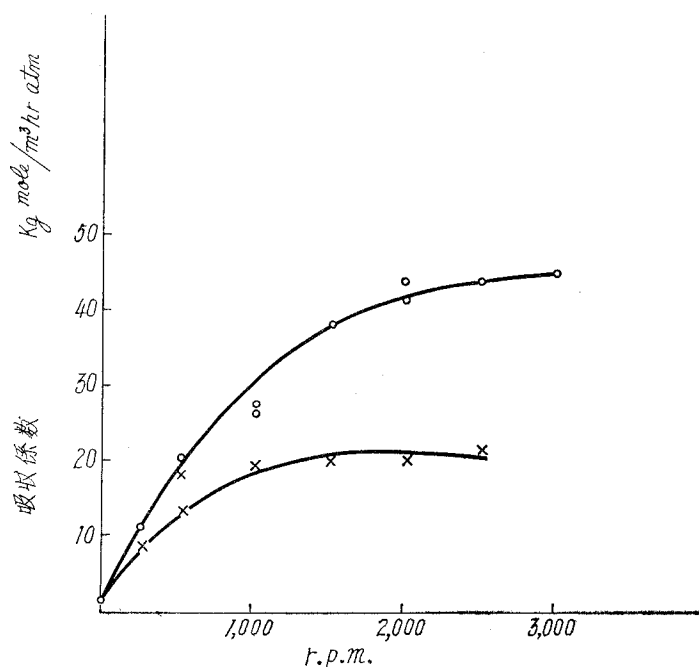


図-5 回転数対ガス吸収係数

吸収, または気泡化吸収であることを示している。

ガス吸収量と周辺速度の関係は Ganz の報告³⁾ とほぼ一致している。図-4 の結果を (1) 式で整理し, ガス吸収係数と回転数の関係を 図-5 に示した。

$$\frac{dW_a}{d\theta} = K_v V_0 P_m \quad (1)$$

図-5 から明らかなように, 吸収係数は回転数の増加に従い増加し, ある回転数以上になると吸収係数は一定となる。このことは回転数の増加に伴い拡散抵抗が小さくなり, 或る回転数以上では拡散抵抗は最大となり, 且つ一定となる。

Ganz の報告によると, この関係は, 図-4 と同じく或る回転数において吸収係数の極大値を持ち, それ以上の回転数で減少するのは, 分散した液滴同志の衝突が激しくなって, 滴が大きくなり, 気液中から分離するため, 気液の接触が悪くなると説明し, 槽内の主な吸収機構は液滴吸収によるとしている。

充填塔, 泡鐘塔による同系のガス吸収係数は $1 \sim 2 \text{ kg-mol/m}^3 \text{ hr} \cdot \text{atm}$ であり, 横型回転攪拌槽は前者に比較し 20~40 倍である。

III-2. 攪拌所要動力

槽内液量率 ϵ^* をパラメータとし、回転数と所要動力の関係を 図-6 に示す。 $\epsilon=1$ における所要動力は回転数の 3 乗に比例し理論式^{6),7)}と一致するが、ガスが混入する $\epsilon < 1$ の範囲において攪拌羽根周囲の流体の見掛け密度は小さく $P < Kn^3$ となる。

ガス吹き込み時の所要動力を縦型攪拌槽に比較した場合、横型攪拌槽の所要動力は小さく、また図から明らかな通り、 $1 > \epsilon > 0.5$ 、低回転範囲では回転数の増加に対する所要動力の増加が

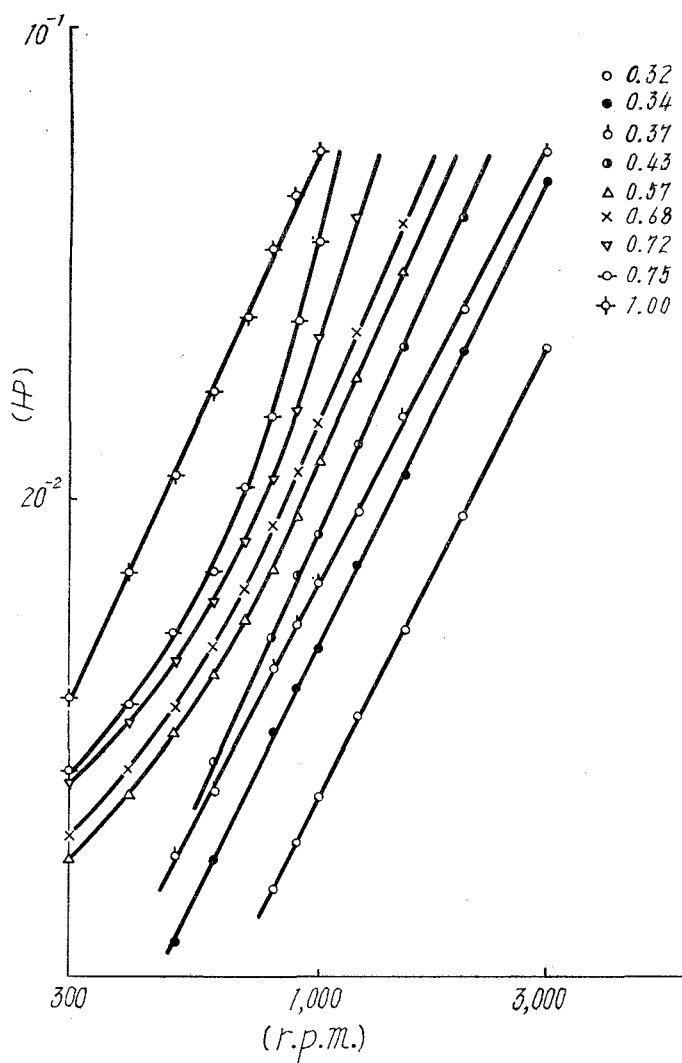


図-6 攪拌所要動力

* ϵ : 槽内液量率 $\epsilon = \frac{V_e}{V_g + V_e}$ 但し V_e : 槽内液量, V_g : 槽内ガス量

少なく、 $\epsilon=0.5$ を境に槽内流体のフローパタンの変化を示すものと云えよう。

$\epsilon=1$ の所要動力を P_0 、およびガス混入時の所要動力を P_g とし、 P_g/P_0 と、回転数との関係を 図-7 に示した。

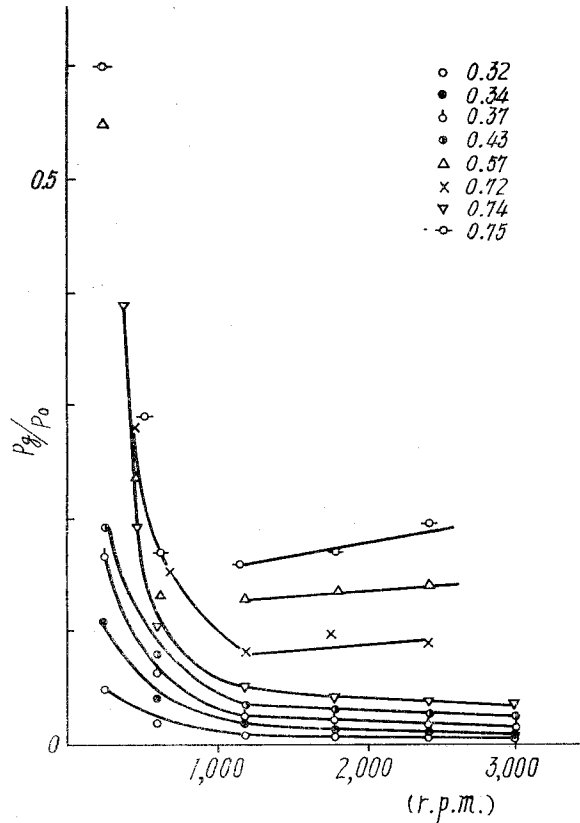


図-7 回転数と P_g/P_0 の関係

同回転において P_g/P_0 が小さいのは、羽根周辺における流体の見掛け密度の小さい事を示し、同一 ϵ においては気泡の分散が良い程少ない値を示す。

図-7 によると、 $\epsilon < 0.5$ においては、約 1,000 r.p.m. 以上での P_g/P_0 はほぼ一定値を示す。これは槽内壁に沿って流動する液膜の厚さが、一定になる事を示すものである。 $\epsilon > 0.5$ では、1,000~1,200 r.p.m. に最小点を有する。すなわち気泡の分散の最も良い点であり、それ以上の回転数において気泡は遠心力により攪拌軸中心に集る。気泡挙動の観察の結果は 図-7 と良く一致した。

以上の流体挙動を 図-4 と対照すると、回転数の増加に従い気液接触面積、気泡分散は増加し、吸収量極大点すなわち 300~1,200 r.p.m. において気泡の分散が最大となる。1,200 r.p.m.

以上の回転数において吸収量が減少するのは、槽内気泡の分散が減少を意味する図-7と一致する。

また液滴量は吸収量に大きな影響を与える程大量とは思われないため、液滴発生 の考察を以下のように行なった。

図-8は攪拌羽根周辺の器壁8点に、流体が器壁に与える圧力を示したものである。Ganz³⁾は発生する液滴を攪拌羽根から直接発生すると考えているが、定性的測定の結果、その量は微量であり、攪拌羽根により加速された液が槽壁に激突飛散する量が大半を占めている。

液滴発生部は図-8からC~D部である事が明らかである。液滴発生量も回転数の増加に

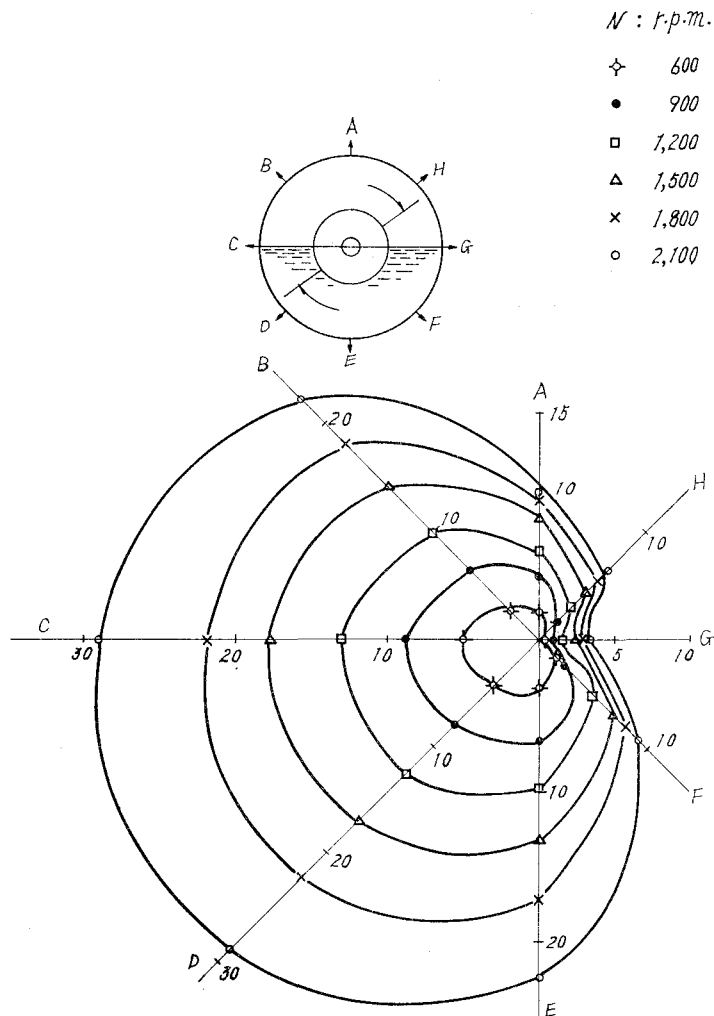


図-8 器壁に与える圧力

より図-4と同じ傾向を示す事は予想される。すなわち、回転数の比較的低い範囲では、槽壁に沿って流れる液流速も遅く、回転数の増加に従い増加するが、回転数の増加とともに槽壁の液体速度も増加するため、羽根から加速されて槽壁に向う液のほとんどが槽壁流れとなり、発生する液滴の飛散距離も小さくなる。

なお流体が器壁におよぼす圧力は Ganz の推定値³⁾ の約 1/10 程度であった。

IV. 結 言

1. 横型攪拌槽のガス吸収量は回転数の増加に伴い増加し、500~1,000 r.p.m. で極大値に達し、それ以上の回転数では減少する。
2. 横型攪拌槽のガス吸収係数は、石炭酸ソーダー炭酸ガス系においては、充填塔泡鐘塔に比べて 20~40 倍の値を有する。
3. 槽内流体の流動パターンは $\epsilon=0.5$ を境として変化する。
4. ガス吸収機構は主として気泡化吸収が考えられ、器壁に与える圧力は Ganz の推定値の約 1/10 程度である。

(昭和 41 年 4 月 30 日受理)

使 用 記 号

K_v : ガス吸収係数	[kg-mol/m ³ . atm. hr]
k : 定 数	[]
n : 攪拌回転数	[$\frac{1}{\text{min}}$]
P : 攪拌所要動力	[HP]
P_0 : $\epsilon=1$ に於ける所要動力	[HP]
P_g : $\epsilon<1$ に於ける所要動力	[HP]
P_m : 出口、入口における被吸収ガス圧力の対数平均	[atm]
V_0 : 被吸収液量	[m ³]
V_g : 槽内ガス量	[m ³]
V_l : 槽内液量	[m ³]
dW_G : $d\theta$ 時間に吸収される被吸収ガスの吸収量	[kg-mol]
$d\theta$: 時 間	[hr]
ϵ : 液 量 率	[—]

文 献

- 1) 木村・外: 室工大研報, 3, 606 (1961).
- 2) 木村・外: 室工大研報, 4, 309 (1962).
- 3) Ganz, et al.: J. App. Chem. (U. S. S. R.), 28, 191 (1958).
- 4) 永田進治・横山藤年: 化学工学, 20, 272 (1956).
- 5) 木村: 室工大研報, 3, 587 (1961).
- 6) 大山義年・伊藤四郎: 分離及び混合, 143 (1957).
- 7) 合葉修一: 化学工学, 20, 593 (1956).